

DAÑOS PROVOCADOS POR ENFERMEDADES FOLIARES Y POR HELADAS EN *EUCALYPTUS GLOBULUS*. II. CONTROL GENÉTICO Y CORRELACIONES GENÉTICAS CON PARÁMETROS PRODUCTIVOS.

Balmelli, G.^{1*}; Altier, N.²; Marroni, V.³

¹Ing. Agr. M.Sc. Programa Nacional Forestal. INIA Tacuarembó

²Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Protección Vegetal. INIA Las Brujas.

³Ing. Agr. M.Sc. Programa Producción Forestal. INIA Tacuarembó (2003-2004).

*Autor para la correspondencia: gbalmelli@tb.inia.org.uy

Boletín del CIDEU 3: 77-82 (2007)

ISSN 1885-5237

Resumen

El crecimiento del área plantada con *Eucalyptus globulus* en Uruguay ha sido acompañado por un aumento de problemas sanitarios. La cuantificación de los daños producidos por diferentes enfermedades y la determinación de la posibilidad de selección por tolerancia vienen siendo estudiadas por el INIA. En el presente trabajo se analiza el control genético de la tolerancia a enfermedades foliares y a heladas y las correlaciones genéticas con parámetros productivos. El estudio se realizó en una prueba de progenies en la cual se cuantificaron los daños provocados en el primer año por enfermedades y por heladas, mientras que al tercer año se evaluó el crecimiento en diámetro y la sobrevivencia. Los resultados de dicha evaluación demuestran que la tolerancia a enfermedades y a heladas presenta un aceptable control genético (la heredabilidad individual para manchas foliares fue de 0.31, para defoliación de 0.36 y para daño de heladas de 0.30). Existe a su vez una relación positiva entre el control genético de dichas características (las correlaciones genéticas entre los diferentes síntomas variaron entre 0.39 y 0.57), lo que sugiere que es posible seleccionar simultáneamente por tolerancia a diferentes problemas. Las correlaciones genéticas entre el nivel de daño foliar (manchas foliares, defoliación y daño de heladas) y el crecimiento posterior en diámetro fueron negativas (-0.43, -0.36 y -0.68), mientras que con la mortalidad posterior fueron positivas (0.49, 0.53 y 0.72). Estos resultados demuestran que los efectos fenotípicos de los daños foliares sobre el crecimiento y sobrevivencia posterior están determinados en buena medida por el genotipo. En otras palabras, es posible realizar selección temprana por tolerancia a enfermedades foliares y/o a heladas y obtener como respuesta tanto un mayor crecimiento en diámetro como una menor mortalidad posterior.

Palabras clave: enfermedades foliares, daño de heladas, heredabilidad, correlaciones genéticas, *Eucalyptus globulus*, Uruguay.

Summary

Foliar diseases and frost damage in *Eucalyptus globulus*. II. Genetic control and genetic correlations with productive parameters.

The increment in the planted area of *Eucalyptus globulus* in Uruguay has been followed by an increment in sanitary problems. INIA is working to quantify the damage caused by different diseases and to determine the feasibility of selection by tolerance. In this paper the genetic control of tolerance to foliar diseases and frosts is analyzed and the genetic correlations with productive parameters estimated. In a genetic test the damage of foliar diseases and frost occurred in the first year were measured, followed by the third year growth and survival evaluation. This analysis shows that disease and frost tolerance are under acceptable genetic control (individual heritability for foliar spots was 0.31, for defoliation was 0.36 and for frost damage was 0.30). The genetic control of those characteristics have a positive relationship (genetic correlations among symptoms varied between 0.39 and 0.57), suggesting that simultaneous selection is possible. Genetic correlations between the level of foliar damage and later diameter growth were negatives (-0.43, -0.36 y -0.68 for foliar spots, defoliation and frost damage, respectively), and were positives with later mortality (0.49, 0.53 y 0.72 for foliar spots, defoliation and frost damage, respectively). Those results demonstrate that the phenotypic effects of foliar damage over later growth and survival are determined in an important proportion by the genotype. In other words, it is feasible to early select by foliar diseases and frost tolerance and to obtain as response, a higher diameter growth and a lower mortality.

Key words: foliar diseases, frost damage, heritability, genetic correlations, *Eucalyptus globulus*, Uruguay.

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento del área plantada con *Eucalyptus globulus* en Uruguay ha sido acompañado por un aumento en los problemas sanitarios, los cuales en varias regiones del país constituyen la principal limitante productiva de esta especie. Las principales enfermedades reportadas para *E. globulus* en Uruguay son las manchas foliares causadas por varias especies de *Mycosphaerella* (Wingfield, 1999), la roya causada por *Puccinia psidii* (Telechea *et al.*, 2003), los canchales causados por *Botryosphaeria dothidea* y por *Coniothyrium zuluense* (Wingfield, 1999) y la podredumbre blanca causada por *Inocutis jamaicensis* (Bettucci, 2003).

El mejoramiento genético como herramienta para aumentar la tolerancia a enfermedades en especies forestales es ampliamente reconocido a nivel mundial. La elección de una adecuada fuente de semilla es la estrategia más sencilla y de menor costo para mejorar el estado sanitario de una plantación (Eldridge *et al.*, 1994). Importantes diferencias entre fuentes de semilla de *E. globulus* en tolerancia a enfermedades, tanto foliares como del fuste, han sido reportadas en Uruguay por Balmelli *et al.* (2004) y Balmelli y Resquin (2005). Sin embargo, el aumento de la tolerancia a enfermedades en el mediano y largo plazo dependerá de la selección y clonación o de la selección y cruzamiento de genotipos tolerantes. En ambos casos el éxito estará determinado principalmente por la existencia de variación genética. Parámetros genéticos para susceptibilidad a diferentes problemas sanitarios fueron reportados por Balmelli *et al.* (2003) y Balmelli *et al.* (2004).

En el presente trabajo se analizan las relaciones genéticas existentes entre la susceptibilidad a enfermedades foliares y a heladas (evaluadas a los 7 y 12 meses,

respectivamente) y parámetros productivos como crecimiento en diámetro y sobrevivencia (evaluados a los 32 meses), en una prueba de progenies instalada en el año 2002 en el Departamento de Maldonado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población evaluada

La evaluación se realizó en una prueba de progenies de *Eucalyptus globulus*, conformada por 204 familias de polinización abierta, de diferentes fuentes de semilla (introducciones de Australia y Chile; selecciones locales y Población de Cría de INIA). El diseño experimental es de bloques completos al azar, con 24 repeticiones y parcelas de 1 planta. Las características del sitio y el manejo realizado se presentaron en la primera parte de este trabajo.

Características medidas

A los 7 meses de edad se realizó la primera evaluación. Se registró la sobrevivencia, se midió la altura y se evaluó en todos los árboles la severidad de enfermedades del follaje, utilizando como indicadores el nivel de manchas foliares y el nivel de defoliación. En ambos casos se utilizó una escala visual de 1 a 5, donde 1 corresponde a ausencia de daño y 5 al mayor nivel de daño.

A los 12 meses de edad se cuantificaron los daños provocados por heladas, mediante una escala visual de 1 a 4 (con valores intermedios), donde 1 corresponde a ausencia de daño y 4 al árbol totalmente dañado.

A los 32 meses de edad se realizó otra evaluación, registrándose nuevamente la sobrevivencia y midiéndose el diámetro a la altura del pecho (DAP). Los valores de sobrevivencia registrados en ambas

evaluaciones fueron utilizados para calcular la mortalidad ocurrida en dicho período.

Análisis genético

Los componentes de varianza para cada característica evaluada se estimaron mediante el Proc Varcomp (método REML) del SAS (1989). El modelo lineal utilizado incluyó términos para bloque, familia y error.

Para la estimación de la heredabilidad individual, y con el fin de corregir posibles desviaciones en la relación de medios hermanos, se asumió un coeficiente de parentesco de 0.4 (Volker *et al.*, 1990). De esta forma la heredabilidad (h^2) y su error estándar para cada característica fue estimada como:

$$h_i^2 = \frac{2.5(\sigma_f^2)}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2} \quad y$$

$$s.e.(h_i^2) = \sqrt{\frac{6.25 * \text{Var}(\sigma_f^2)}{(\sigma_f^2 + \sigma_e^2)^2}}$$

donde σ_f^2 y σ_e^2 son respectivamente los componentes de varianza para familia y error y $\text{Var}(\sigma_f^2)$ es la varianza del componente de varianza para familia.

Las correlaciones genéticas entre diferentes características se estimaron como correlaciones entre los valores de cría parentales, los cuales fueron estimados mediante la técnica de BLUP (mejor predictor lineal insesgado), utilizando el programa GAREML (Huber, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Control genético de las características evaluadas.

Los valores de heredabilidad individual, así como el error estándar de su estimación, para todas las características medidas en las sucesivas evaluaciones se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Heredabilidad individual (y error estándar) de las características evaluadas a los 7, 12 y 32 meses.

Característica (edad)	h_i^2 (e.e.)
Altura (7 meses)	0.40 (0.05)
Mancha foliar (7 meses)	0.31 (0.04)
Defoliación (7 meses)	0.36 (0.05)
Daño de heladas (12 meses)	0.30 (0.04)
DAP (32 meses)	0.31 (0.04)
Sobrevivencia (32 meses)	0.21 (0.03)

Todas las características evaluadas presentaron valores de heredabilidad moderados (entre 0.21 y 0.40), con bajos errores estándar (entre 0.03 y 0.05), indicando una buena precisión en la estimación de la heredabilidad. Valores de heredabilidad algo mayores (entre 0.34 y 0.54) fueron obtenidos en una repetición de esta prueba, instalada en el Departamento de Rocha (Balmelli, 2005). Similares resultados para daño foliar en *E. globulus* han sido reportados por varios autores, con valores de heredabilidad entre 0.11 y 0.34 para porcentaje de área foliar

dañada por *Mycosphaerella* spp. (Dungey *et al.*, 1997), entre 0.26 y 0.37 para defoliación causada por *Mnesempela privata* (Jones *et al.*, 2001) y de 0.60 para severidad de manchas provocadas por *Mycosphaerella nubilosa* (Milgate *et al.*, 2005).

Los valores de heredabilidad obtenidos indican que tanto la susceptibilidad a enfermedades foliares como la susceptibilidad a heladas en *E. globulus* presentan un buen control genético y que por lo tanto es posible obtener aceptables respuestas por selección. De los dos indicadores de daños provocados por enfermedades foliares, la defoliación parece ser el más adecuado para seleccionar por tolerancia ya que además de presentar mayor heredabilidad, es más fácil de medir que las manchas foliares.

Correlaciones genéticas entre las características evaluadas en el primer año.

Las correlaciones genéticas entre el crecimiento temprano y los diferentes síntomas de daño foliar se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Correlaciones genéticas entre la altura y el nivel de daño foliar provocado por enfermedades y por heladas.

Característica (meses)	Mancha (7)	Defoliación (7)	Heladas (12)
Altura (7)	-0.17	-0.32	-0.58
Mancha (7)	-	0.57	0.39
Defoliación (7)	-	-	0.40

Los valores de correlación genética entre las características evaluadas en los primeros meses fueron bajos a moderados, variando entre -0.17 y -0.58. En la primera parte de este trabajo se interpretó el mayor nivel de daño foliar de los árboles de menor altura como un efecto temprano del propio daño y/o como una mayor predisposición al daño en árboles de menor crecimiento. Los resultados presentados aquí (correlaciones genéticas negativas entre altura y daño foliar) indican a su vez una mayor susceptibilidad de los genotipos de menor crecimiento.

Si bien los valores de correlación genética entre las características evaluadas temprano son relativamente bajos, los mismos son favorables desde el punto de vista del mejoramiento genético, ya que el crecimiento temprano se correlaciona negativamente con los síntomas de daño foliar y además éstos se correlacionan positivamente entre sí. En otras palabras, es posible seleccionar simultáneamente por velocidad de crecimiento, por tolerancia a enfermedades foliares y por tolerancia a heladas. También es posible realizar selección indirecta, es decir selección por una característica para obtener respuestas

favorables en las otras. Esto es de gran importancia cuando el objetivo de selección es el aumento de la tolerancia a enfermedades o a heladas, ya que no siempre se dan las condiciones ambientales necesarias para la manifestación de síntomas, lo cual es imprescindible para la evaluación de la susceptibilidad.

Correlaciones genéticas con DAP y con mortalidad hasta los 32 meses.

La relación genética existente entre las características evaluadas a los 7 y 12 meses con las evaluadas a los 32 meses se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas entre las diferentes características evaluadas.

Característica (meses)	DAP (32)	Mortalidad (7 o 12 a 32)
Altura (7)	0.55	-0.55
Mancha (7)	-0.43	0.49
Defoliación (7)	-0.36	0.53
Daño de Heladas (12)	-0.68	0.72

El crecimiento en diámetro hasta los 32 meses se correlacionó positivamente con el crecimiento temprano en altura (0.55) y negativamente tanto con los síntomas de enfermedades foliares (-0.43 y -0.36) como con los daños provocados por heladas (-0.68). Estas correlaciones indican que los genotipos más susceptibles a enfermedades foliares, y principalmente los más susceptibles a heladas, son también los de menor crecimiento en diámetro. En la prueba instalada en Rocha los resultados obtenidos fueron muy similares, la correlación genética entre manchas y DAP fue de -0.40 y entre defoliación y DAP de -0.37 (Balmelli, 2005). En Australia, Milgate *et al.* (2005) reportaron correlaciones genéticas algo mayores (-0.52 y -0.77) entre el daño provocado por *Mycosphaerella nubilosa* y el crecimiento de *E. globulus*.

La mortalidad ocurrida entre los 7 y los 32 meses se correlacionó negativamente con el crecimiento en altura (-0.55) y positivamente tanto con los síntomas de enfermedades foliares (0.49 y 0.53) como con los daños provocados por heladas (0.72). Esto indica que en general los genotipos de menor crecimiento y más susceptibles a enfermedades foliares o a heladas son también los de mayor mortalidad. En la prueba instalada en Rocha las correlaciones entre el nivel de daño foliar provocado por enfermedades y la mortalidad fueron algo menores, de 0.41 y 0.36 (Balmelli, 2005).

Estos resultados demuestran que los efectos fenotípicos de los daños foliares (provocados por enfermedades o por heladas) sobre el crecimiento y sobrevivencia posterior están determinados en buena medida por el genotipo. En otras palabras, es posible realizar selección temprana por tolerancia a enfermedades foliares y a heladas y obtener como respuesta un mayor crecimiento en diámetro y una menor mortalidad posterior.

A nivel de familias, es decir para el promedio de los árboles de cada familia, el rango de valores para defoliación fue de 1.4 a 3.2, el rango para manchas foliares fue de 1.7 a 3.7 y el rango de daño de heladas fue de 1.3 a 3.2. Dichos rangos demuestran la posibilidad de seleccionar genotipos de baja susceptibilidad a enfermedades foliares y de buena tolerancia al frío, lo cual como se vio determinará en buena medida el comportamiento posterior. Al tercer año, el rango de valores medios de DAP a nivel de familias fue de 5.3 a 11.5 cm, mientras que el de mortalidad fue de 0 a 68%.

En general el nivel de daño de enfermedades está dado por la combinación de determinadas condiciones ambientales (principalmente humedad y temperatura), de la cantidad de inóculo presente y de la

susceptibilidad relativa del material genético. De dichos factores el único en el que se puede influir para disminuir el riesgo de daño es mediante la elección del material genético.

El daño de heladas también está dado por una combinación de condiciones ambientales (principalmente de la temperatura mínima), de las características del sitio (topografía), del tamaño del árbol y de la susceptibilidad relativa del material genético. En este caso, el riesgo de daño se puede reducir mediante la correcta elección del sitio (evitando plantar en las zonas bajas), mediante una buena silvicultura (que permita un rápido crecimiento temprano) y mediante la elección de materiales de buena tolerancia al frío.

CONCLUSIONES

La información presentada en ambos trabajos debe considerarse como una cuantificación temprana de los efectos provocados por enfermedades foliares y por heladas en una plantación de *E. globulus*, siendo necesario continuar la evaluación hasta edades más avanzadas. De todas formas los resultados obtenidos demuestran los importantes efectos, tanto fenotípicos como genéticos, que el crecimiento inicial y los daños provocados por enfermedades y heladas tienen sobre el crecimiento y la mortalidad posterior. Es decir, demuestran la necesidad de utilizar una adecuada silvicultura y de elegir un buen genotipo para disminuir los riesgos sanitarios y en definitiva lograr una plantación exitosa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Programa de Desarrollo Tecnológico, PDT/CONICYT, Proyecto 7/29 "Desarrollo de una raza local de *Eucalyptus globulus* tolerante a las principales enfermedades y plagas".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balmelli, G. 2005. Efecto de enfermedades foliares en *Eucalyptus globulus* al tercer año de crecimiento. En: IX Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos. 24 y 25 de Octubre de 2005. Montevideo, Uruguay. (<http://www.aiau.org.uy>).
- Balmelli, G., Marroni, V., Altier, N. y García, R. 2003. Control genético de la susceptibilidad de *Eucalyptus globulus* a diferentes enfermedades. En: 1° Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Octubre 30-31, 2003. Montevideo, Uruguay.
- Balmelli, G., Marroni, V., Altier, N. y García, R. 2004. Potencial del Mejoramiento Genético para el manejo de enfermedades en *Eucalyptus globulus*. Serie Técnica N°143. INIA. Montevideo, Uruguay. 44p.
- Balmelli, G. y Resquin, F. 2005. Evaluación productiva de orígenes de *Eucalyptus globulus* en zonas Litoral y Norte. Serie Técnica N°149. INIA. Montevideo, Uruguay. 16p.
- Bettucci, L. 2003. Problemas sanitarios en *Eucalyptus globulus* en Uruguay. En: 1° Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Octubre 30-31, 2003. Montevideo, Uruguay.
- Eldridge, K.G.; Davidson, J.; Hardwood, C.E.; Van Wyk, G. 1994. *Eucalypt Domestication and Breeding*. Oxford Press. 288p.
- Dungey, H.S.; Potts, B.M.; Carnegie, A.J. y Ades, P.K. 1997. *Mycosphaerella* leaf disease: genetic variation in damage to *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, and their F1 hybrid. *Canadian Journal of Forest Research*. 27:750-759.
- Huber, D.A. 1993. Optimal mating designs and optimal techniques for analysis of quantitative traits in forest genetics. Ph.D. Dissertation. University of Florida. Gainesville, FL. USA. 104p.
- Jones, T.H.; Potts, B.M.; Vaillancourt, R.E. y Davies, N.W. 2001. Using F2 families to search for mechanisms of genetic based on pest resistance in *Eucalyptus globulus*. En: Simposio Internacional IUFRO: Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia, Chile, Setiembre 2001.
- Milgate, A.W.; Potts, B.M.; Joyce, K.; Mohammed, C. y Vaillancourt, R.E. 2005. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. *Australasian Plant Pathology*. 34:11-18.
- SAS Institute. 1989. SAS/STAT guide for personal computers, 6th edition. SAS .Institute Inc. Cary, NC.
- Telechea, N., Rolfo, M., Coutinho, T. A. & Wingfield, M. J. 2003. *Puccinia psidii* on *Eucalyptus globulus* in Uruguay. *Plant Pathology* 52 (3), 427.
- Volker, P.W.; Dean, C.A.; Tibbits, W.N. y Ravenwood, I.C. 1990. Genetic parameters and gains expected from selection in *Eucalyptus globulus* in Tasmania. *Silvae Genetica*. 39:18-21.
- Wingfield, M.J. 1999. Report on diseases of plantation *Eucalyptus* in Uruguay. 28p.